

FIB の像コントラスト

1. はじめに

FIB は比較的構造が似ている SEM と良く比較されるが、イオンと電子で固体との相互作用は異なり、得られる情報も見似ているが、比較するとかなり異なっている。

試料へイオン照射したときに発生した 2 次電子は 2 次電子検出器で検出され SIM 像として画像観察に用いられている。SEM との比較を中心にした SIM 像の特性について説明する。

2. イオンの侵入深さ

イオンが固体に侵入する深さは SEM と異なり非常に浅い (Fig.1) ので 2 次電子などの情報も非常に浅い部分から発生する。

したがって SIM 像は試料の極表面を観察していると言える。Fig.2 にカーボン蒸着された隕石標本の SEM 像と SIM 像の比較を示す。

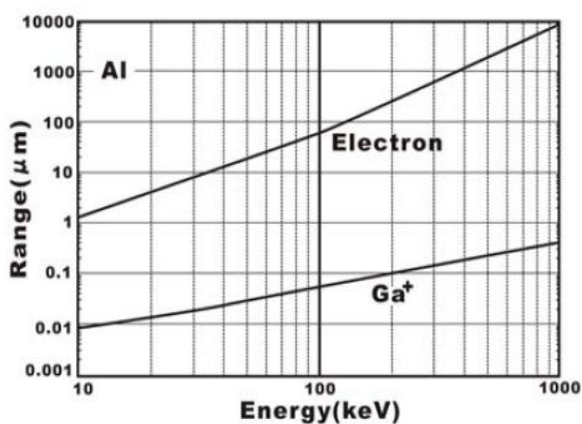


Fig.1 電子と Ga イオンの飛程 (レンジ)

入射イオンのエネルギーがゼロになるまでの深さを飛程と言う。Fig.1 はアルミニウムにおける Ga⁺イオンと電子の飛程の比較を示す。30kV では電子の飛程は約 8 μm に対し、Ga⁺イオンは 0.02 μm と非常に小さい。

SEM 像では組織が観察されるが同一場所を SIM 像観察すると無構造に見える。

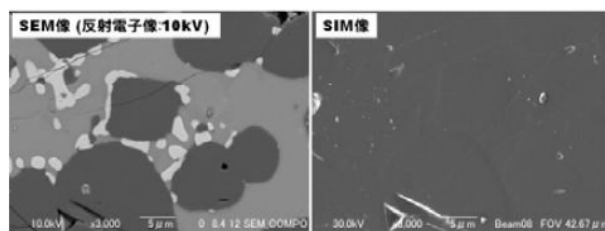


Fig.2 SIM 像と SEM 像で試料 (試料: 隕石の研磨面) の同一場所を比較した例。

導電性を得るためにカーボンコーティングを行っているため、SEM 像では試料本来の表面構造を見ることができるが SIM 像ではカーボンコーティングされた最表面の情報しか見ることができない。

3. イオンチャンネリング

イオンチャンネリングは電子チャンネリングとメカニズムが異なる。イオンは結晶の結晶軸に平行に入射すると結晶内部に深く侵入することができる。これをイオンチャンネリングと言う。このチャンネリングを起こす方位ではイオンは数 10nm の深さまで侵入する。数 eV の 2 次電子の平均自由行程は数 nm であり、結晶の深い位置で励起された 2 次電子は結晶表面に到達できなくなり、結果的に 2 次電子が検出されない。

一方、結晶軸から外れたランダムな方位にイオンが入射するとイオンの侵入深さは数 nm であり 2 次電子は多く検出される。一方、電子は回折現象なので波長を変化 (加速電圧を変化) させるとチャンネリング方位が異なる。しかし、イオンの場合

はチャネリングの方位は結晶方位に依存し、イオンの種類やエネルギー(加速電圧)には依存しない。Fig.3 は銅基板上にニッケルメッキさらに金メッキを行った試料を FIB で断面加工した試料である。この試料を加速電圧一定(30kV)でイオンの入射角度を変化させた場合と、イオンの入射角度一定(60°)で加速電圧を変化させた場合とでそれぞれ SIM 像の撮影を行った。その結果、イオンの入射角度を変化させたときはチャネリングの方位の変化が見られたが、加速電圧を変化させてもチャネリングの変化は見られなかった。この結果からもイオンによるチャネリング方位はエネルギー(加速電圧)変化に依存しないことがわかる。

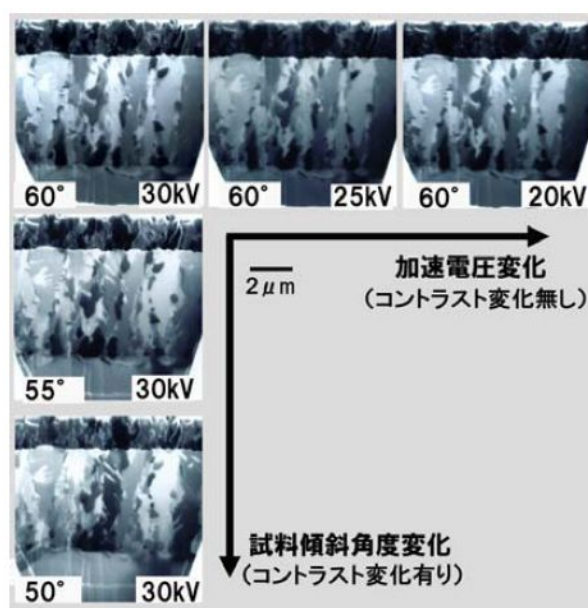


Fig.3 SIM 像の結晶コントラストの変化

イオンの入射角を変化させた時と、加速電圧を変化させた時のコントラスト変化を示す。入射角度を変えるとそれに伴い、コントラストが変化するが、加速電圧を変えてもコントラストは変化しない。

4. コントラストの原子番号依存性

SEM、SIM 像は共に試料の構成元素の原子番号差によりコントラストが異なる。しかしそのコントラストを同一試料で比較すると逆転していることがわかる。実際の試料で比較するとその様子がわかる。Fig.4 はイオン研磨されたニッケル同士のハンダ接合界面についての SEM 像と SIM 像の比較である。同位置を対比するとコントラストが逆転していることがわかる。

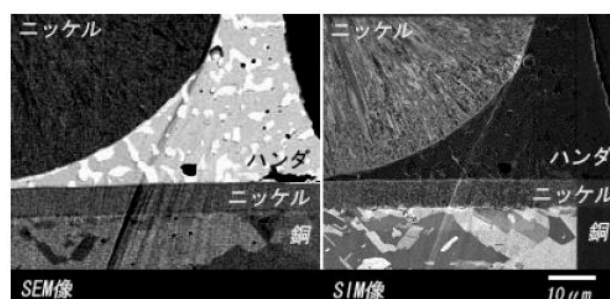


Fig.4 SEM 像と SIM 像のコントラスト逆転

イオン研磨で作製されたニッケルのハンダ接合界面の SEM 像(左)と SIM 像(右)の比較を示す。原子番号コントラストが逆転している様子がわかる。